

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2002-164621

(43) Date of publication of application : 07.06.2002

(51) Int.CI.

H01S 5/183  
H01L 21/205

(21) Application number : 2000-361317

(71) Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22) Date of filing : 28.11.2000

(72) Inventor : YOKOUCHI NORIYUKI

TACHIBANA MASATO

UEDA NATSUMI

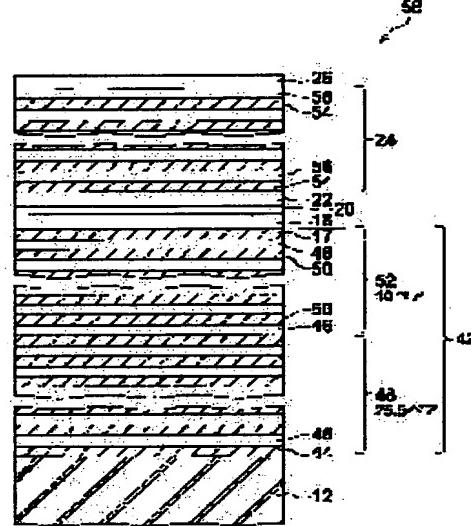
SHINAGAWA TATSUSHI

## (54) PLANE EMISSION SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

### (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a plane emission semiconductor layer element whose thermal saturation characteristic of light output is satisfactory and which can stably operate with high output even in the high temperature operation environment.

**SOLUTION:** The plane emission semiconductor laser element 40 is that of a plane emission type with an emission wavelength of 850 nm. It has a constitution similar to the conventional plane emission semiconductor laser element except that the constitution of a lower reflection mirror 42 differs from that of the lower reflection mirror. The lower reflection mirror 42 is provided with a p-AlAs film 44 arranged as a low reflective index film, a lower multilayer film 48 constituted of 25.5 pairs of p-Al0.2Ga0.8As film 46 arranged as a high refractive index film, and an upper multilayer film 52 which is formed on the lower multilayer film 44 and is constituted of the p-Al0.2Ga0.8As film 46 and a p-Al0.9Ga0.1As film 50. A p-AlAs film 58 with the film thickness of 50 nm, where an Al oxidized layer 16 is formed as a current narrowing area in a partial area, is formed on the uppermost layer of the upper multilayer film 52 instead of the p-Al0.9Ga0.1AS film.



44: p-AlAs  
46: p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As  
50: p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As  
54: n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As  
58: p-AlAs

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-164621

(P2002-164621A)

(43)公開日 平成14年6月7日(2002.6.7)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 01 S 5/183  
H 01 L 21/205

識別記号

F I

H 01 S 5/183  
H 01 L 21/205

マーク一(参考)

5 F 0 4 5  
5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全10頁)

(21)出願番号

特願2000-361317(P2000-361317)

(22)出願日

平成12年11月28日(2000.11.28)

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 横内 則之

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 橋 正人

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(74)代理人 100096231

弁理士 稲垣 清 (外1名)

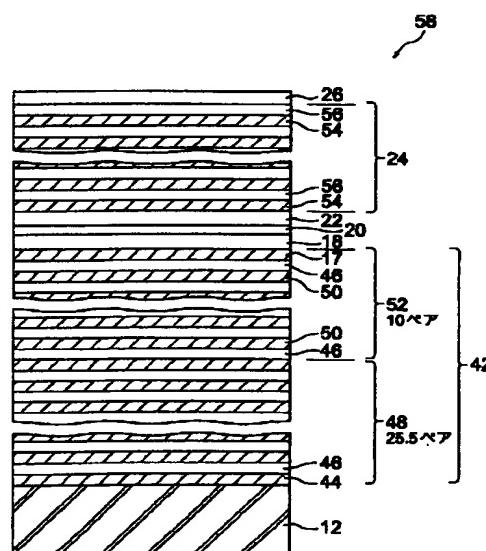
最終頁に続く

(54)【発明の名称】面発光半導体レーザ素子

(57)【要約】

【課題】光出力の熱飽和特性が良好で、高温の動作環境でも高出力で安定して動作する面発光半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】本面発光半導体レーザ素子40は、発光波長500nmの面発光型の半導体レーザ素子であって、下部反射鏡42の構成が従来の面発光半導体レーザ素子の下部反射鏡の構成と異なることを除いて、従来の面発光半導体レーザ素子と同じ構成を備える。下部反射鏡42は、低屈折率膜として設けられたp-Al<sub>1</sub>As膜44と、高屈折率膜として設けられたp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46の25.5ペアからなる下部多層膜48と、下部多層膜44上に形成され、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46とp-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50の10ペアからなる上部多層膜52とから構成される。上部多層膜52の最上層は、p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜に代えて一部領域に電流狭窄領域としてAl酸化層16を形成した膜厚50nmのp-Al<sub>1</sub>As膜58が成膜されている。



44 p-Al<sub>1</sub>As膜  
46 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜  
50 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜  
54 n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜  
56 n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に設けられた一対の半導体多層膜反射鏡と、一対の半導体多層膜反射鏡の間に設けられた活性層と、基板側の半導体多層膜反射鏡中に設けられた特定半導体層の一部領域を選択的に酸化して酸化層を形成することにより電流経路を限定した電流狭窄構造とを有し、電流注入により基板と垂直にレーザ光を放射する面発光半導体レーザ素子において、  
基板側の半導体多層膜反射鏡を構成する、相互に屈折率の異なる2層の化合物半導体層のペアの低屈折率層がAlAs層であって、  
特定半導体層の一部領域を酸化して酸化層に転化する酸化工程の際のAlAs層に対する酸化防止層として、AlAs層よりも酸化速度の遅い材料からなる層が、半導体多層膜反射鏡の活性層側のAlAs層と酸化層との間に介在することを特徴とする面発光半導体レーザ素子。

【請求項2】 前記AlAs層よりも酸化速度の遅い材料からなる層がAlGaAs層であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】 特定半導体層がAlAs層であり、基板側の半導体多層膜反射鏡が、AlAs層を低屈折率層として有するペアからなる第1半導体多層膜と、第1半導体多層膜と特定半導体層との間に形成され、相互にAl組成の異なる2層のAlGaAs/A1GaAsのペアからなる第2半導体多層膜とを有することを特徴とする請求項1に記載の面発光半導体レーザ素子。

【請求項4】 第1半導体多層膜のペア数をm、第2半導体多層膜のペア数をnとするとき、第1半導体多層膜のペア数mと第2半導体多層膜のペア数nとの間には、 $n / (m+n) \leq 4 / 7$  の関係があることを特徴とする請求項3に記載の面発光半導体レーザ素子。

【請求項5】 基板の導電型がp型であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の面発光半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、面発光半導体レーザ素子に関し、更に詳細には、温度特性の良好な、つまりレーザ光出力の熱飽和特性が良好で、高温の動作環境でも高出力で安定して動作する面発光半導体レーザ素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 面発光半導体レーザ素子は、基板面に対して直交方向にレーザ光を出射する半導体レーザ素子であって、同一基板上に2次元的に多数のレーザ素子を集積できる特長を備えていて、光インターフェクションや光コンピューティングなどの光の並列性を生かした並列光情報処理、或いは大容量並列光伝送などへの適用に適している。そして、近年、GaAs基板上に形成された相互にAl組成の異なるAlGaAs/A1GaAs等

のペアからなる一対の半導体多層膜反射鏡と、その一対の半導体多層膜反射鏡の間に設けられ、発光領域となるGaAs活性層とを有する、GaAs系面発光半導体レーザ素子が、データ通信分野で使用する光通信装置の光源として、特に注目されている。

【0003】 p型導電型の半導体多層膜反射鏡(Distributed Bragg Reflector、以下、DBRと言う)の電気抵抗は、n型DBRに比べて本来的に大きい。そのため、n型GaAs基板上に形成した面発光半導体レーザ素子は、p型DBRの面積が面発光半導体レーザ素子の構造上から必然的に小さくなることもあって、p型DBRの電気抵抗が大きくなるので、電極間に必要な電圧が大きくなつて、好ましくない。

【0004】 そこで、p型GaAs基板のほぼ全面に形成されたp型DBRと、p型DBR上にエアポスト構造として形成された活性層及びn型DBRとを備えて、p型DBRの電気抵抗を小さくした面発光半導体レーザが開発されている。そして、半導体多層膜反射鏡の一部に他のいづれの化合物半導体層よりもAl組成が高い一層または複数層のAlGaAs層を形成し、その高いAl組成の層の一部領域のみを選択的に酸化して電気抵抗の高いAl酸化層を形成し、電流経路を限定するようにした電流狭窄構造を設けることにより、発光効率を高め、しきい値電流を低くした、レーザ特性の良好な面発光半導体レーザ素子が実現している。

【0005】 ここで、図5及び図6を参照して、p型GaAs基板上に形成されたp型DBRと、p型DBR上にエアポスト構造として形成された活性層及びn型DBRとを備え、かつAl酸化層による電流狭窄構造を有する、発光波長850nmの従来の面発光半導体レーザ素子の構成を説明する。図5は従来の面発光半導体レーザ素子の構成を示す斜視図、及び図6は従来の面発光半導体レーザ素子の層構造を示す模式図である。従来の発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子10は、図5及び図6に示すように、基板厚さ約100μmのp-GaAs基板12上に、順次、形成されたp型半導体多層膜からなる下部反射鏡14、AlAs層17の所定領域に電流狭窄構造として形成されたAl酸化層16、ノンドープAlGaAs下部クラッド層18、GaAs量子井戸発光構造20、ノンドープAlGaAs上部クラッド層22、n型多層膜からなる上部反射鏡24、及びn-GaAsキャップ層26からなる積層構造を備えている。

【0006】 積層構造のうち、n-GaAsキャップ層26、上部反射鏡24、ノンドープAlGaAs上部クラッド層22、GaAs量子井戸発光構造20、ノンドープAlGaAs下部クラッド層18、及びAl酸化層16/AlAs層17は、円筒状溝28を設けることによって直径40~45μmのエアポスト構造30として

形成されている。Al酸化層16は、エアポスト構造3の側壁に沿うAlAs層17中のAlを選択的に酸化することにより形成されている。AlAs層17の中央領域は、酸化されることなくそのままAlAs層として存在し、電流注入経路を構成している。

【0007】下部反射鏡14は、図6に示すように、p-Al<sub>1.0</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50とp-Al<sub>1.0</sub><sub>2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46とが20nmの組成傾斜層を介して積層された35.5ペアの多層膜によって構成されている。上部反射鏡24はn-Al<sub>1.0</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜54とn-Al<sub>1.0</sub><sub>2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜56とが20nmの組成傾斜層を介して積層された30ペアの多層膜によって構成されている。また、Al<sub>1.0</sub><sub>2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46(56)及びAl<sub>1.0</sub><sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50(54)の膜厚は、それぞれ、40nm及び50nmである。

【0008】また、下部反射鏡14の最上層は、図5に示すように、p-Al<sub>1.0</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50に代えて、円筒状溝28の溝壁に沿ってAl酸化層16を形成した膜厚50nmのp-AlAs層17が成膜されている。つまり、Al酸化層16は、p-AlAs層17の円筒状溝28に面する外側領域のAlが選択的に酸化された層であって、電気抵抗の高い電流狭窄領域として機能する。一方、エアポスト構造30内部にあって酸化されなかったp-AlAs層17は、直径15μmから20μmの円形領域であって、電流注入経路を構成する。

【0009】円筒状溝28の溝壁、エアポスト構造30上を含めて、全面にシリコン窒化膜32が成膜されている。そして、エアポスト構造30上面のシリコン窒化膜32は、直径30μmの円形状に除去されて、n-GaAsキャップ層26を露出させている。そこには、内径20μm、外径30μmのリング状のAuGeNi/Au金属積層膜がn側電極34として形成されている。更に、中央に円形開口を有するようにしてn側電極34を覆って接続したTi/Pt/Au積層金属パッドが、n側電極34の引き出し用電極36として形成されている。また、p-GaAs基板12の裏面には、AuZn膜がp側電極38として形成されている。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述した従来の発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子は、光出力の熱飽和特性が良好でないという問題があった。すなわち、高温の動作環境では、面発光半導体レーザ素子の最大光出力が、飽和状態に達し、それ以上の光出力を出すことが出来なくなるために、最大光出力が低いということである。例えば、図4(b)に示すように、50℃の動作環境で、光出力-電流特性が飽和に近づき、70℃の動作環境では、光出力-電流特性が約8.5mWで飽和し、注入電流を増加しても、光出力が増大しないという問題である。発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子を例に挙げて、光出力の熱飽和特性の問題を

説明したが、この問題は発光波長のいかんを問わず、面発光半導体レーザ素子の普遍的な問題である。

【0011】そこで、本発明の目的は、光出力の熱飽和特性が良好で、高温の動作環境でも高出力で安定して動作する面発光半導体レーザ素子を提供することである。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】本発明者は、従来の面発光半導体レーザ素子の光出力の熱飽和特性を改善するためには、活性層部分の温度上昇を抑制することが重要であると認識して、研究を重ね、種々の実験を行った結果、次に実験例1及び実験例2として要約する事実を見い出した。

#### 実験例1

本実験では、面発光半導体レーザ素子の熱抵抗R<sub>th</sub>(K/W)に注目した。熱抵抗R<sub>th</sub>は、簡単には、各材料の熱伝導率α<sub>th</sub>と構造寸法(長さL、面積S)により、次のように表される。

$$R_{th} = 1 / (\alpha_{th} S) = \rho_{th} L / S$$

活性層における消費電力をQとすれば、活性層の温度上昇ΔTは、

$$\Delta T = R_{th} \cdot Q$$

で表され、熱抵抗R<sub>th</sub>が大きいほど、活性層の温度上昇が大きくなる。

【0013】そこで、面発光半導体レーザ素子の熱抵抗R<sub>th</sub>(K/W)を低下させ、活性層部分の温度上昇を抑制することを意図して、熱抵抗R<sub>th</sub>を低下させる因子を研究し、次のことが判った。

(1) 下部反射鏡の熱伝導率を大きくすると、図7及び図8にそれぞれ示すように、熱抵抗R<sub>th</sub>が低下して、活性層部分の温度上昇ΔTを抑制する効果が大きい。

(2) 上部反射鏡の熱伝導率を大きくしても、活性層部分の温度上昇を抑制する効果は小さい。

(3) また、実験によれば、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As混晶の熱伝導率は、図9に示すように、Al組成(X)に対して非線形性を示し、Xが0近傍で比較的大きく、0.5近傍で極小値を取り、再び大きくなつて、1.0で極大になる。更に、以上の結果を整理すると、図10に示すように、熱抵抗値が低下するにつれて、面発光半導体レーザ素子の最大光出力が増加する。

【0014】以上の結果から、下部反射鏡の熱伝導率を大きくすることにより、面発光半導体レーザ素子の光出力の熱飽和特性を改善できることが判った。

【0015】例えば、下部反射鏡の半導体多層膜を構成するAlGaAsのペアは、従来、Al<sub>1.0</sub>Ga<sub>0.1</sub>AsとAl<sub>1.0</sub><sub>2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asなどの組み合わせを用いている。そして、Al被酸化層の組成をAl<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Asやそれ以上の高Al組成、例えばAlAs層にすることにより、Alを選択的に酸化してAl酸化層を形成している。しかし、Al<sub>1.0</sub>Ga<sub>0.1</sub>AsやAl<sub>1.0</sub><sub>2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asは、熱伝導率がそれぞれ25.8W/Km及び

1.5 W/Km であって、AlAs の 91.0 W/Km に比べて著しく低い。

【0016】そこで、低屈折率層として熱伝導率の高い AlAs と Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As のペアからなる下部反射鏡を形成することにより、半導体レーザ素子の光出力の熱飽和特性を向上させることを着想し、実験により確認して、本発明を発明するに至った。尚、GaAs 基板の熱伝導率は 54.0 W/Km であって、Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As や Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As の熱伝導率に比べて十分に高い。

#### 【0017】実験例2

本実験例では、下部反射鏡を構成するに当たり、熱抵抗\*

n	熱抵抗 (K/W)	温度上昇 (°C)
35	920	28
25	770	23
20	716	21
15	673	20
10	636	19
5	605	18
0	578	17

【0019】実験例2の結果から、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As / Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As のペア数 n が、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As / AlAs のペア数 m と Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As / Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As のペア数 n との和 (m+n) に対して 20/35 以下であれば、活性層部分の温度上昇をほぼ 20°C 以下に抑えることができる事が判った。

【0020】上記目的を達成するために、上述の実験例1で得た知見に基づいて、本発明に係る面発光半導体レーザ素子は、基板上に設けられた一対の半導体多層膜反射鏡と、一対の半導体多層膜反射鏡の間に設けられた活性層と、基板側の半導体多層膜反射鏡と活性層の間に設けられた特定半導体層の一部領域を選択的に酸化して酸化層を形成することにより電流経路を限定した電流狭窄構造とを有し、電流注入により基板と垂直にレーザ光を放射する面発光半導体レーザ素子において、基板側の半導体多層膜反射鏡を構成する、相互に屈折率の異なる2層の化合物半導体層のペアの低屈折率層が AlAs 層であって、特定半導体層の一部領域を酸化して酸化層に転化する酸化工程の際の AlAs 層に対する酸化防止層として、AlGaAs 層が、半導体多層膜反射鏡の活性層側の AlAs 層と酸化層との間に介在することを特徴としている。

【0021】本発明で、特定半導体層とは Al を含む被酸化層であって、例えば AlAs 層を使用する。本発明は、発振波長の长短にかかわらず、Al を含む材料系の面発光半導体レーザ素子に適用できる。酸化防止層として介在する AlGaAs 層の構成には制約はなく、例えば AlGaAs 層が、相互に Al 組成の異なる2層の AlGaAs / AlGaAs のペアとして設けられ、下部反射鏡を構成するペアの一部を構成するようにしても良

\*を低下させるために、下部反射鏡の総ペア数と、AlAs / Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As のペアのペア数との関係を調べる実験を行った。Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As / AlAs のペア数 m のペアと、Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As / Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As のペア数 n のペアとを有する半導体多層膜 (m+n=35) からなり、m を 0 から 35 に変えた種々の下部反射鏡を備える半導体レーザ素子試料を試作し、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As / AlAs のペア数 m の多寡と熱抵抗の大小及び活性層の温度上昇の大小の関係を 10 調べた。そして、以下の結果を得た。

#### 【0018】

い。つまり、特定半導体層が AlAs 層であり、基板側の半導体多層膜反射鏡を、AlAs 層を低屈折率層として有するペアからなる第1半導体多層膜と、第1半導体多層膜反射鏡と特定半導体層との間に形成され、相互に Al 組成の異なる2層の AlGaAs / AlGaAs のペアからなる第2半導体多層膜とで構成する。第2半導体多層膜が、酸化防止層として機能すると共に、AlGaAs / AlGaAs のペアなる半導体多層膜は、基板と反対側の半導体多層膜反射鏡、活性層、クラッド層等をエッチングしてエアポスト構造を形成する際のエッチング深さの制御層としても機能する。

【0022】更には、上述の実験例2で得た知見に基づいて、第1半導体多層膜のペア数を m、第2半導体多層膜のペア数を n とするとき、第1半導体多層膜のペア数 m と第2半導体多層膜のペア数 n との間には、n / (m+n) ≤ 4/7 の関係があるようとする。これにより、一層確実に、活性層部分の温度上昇を抑制して、レーザ光出力の熱飽和特性を改善することができる。また、基板の導電型は、p 型でも、n 型でも良いが、好適には、電流を効果的に閉じ込めることができるようにする観点からは p 型が好ましい。特にアレイ化する際には p 型基板は好適である。なお、素子抵抗（動作電圧）の観点からは電流狭窄層を p 型 DBR 内に形成することが好ましい。

#### 【0023】

【発明の実施の形態】以下に、添付図面を参照し、実施形態例を挙げて本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

#### 実施形態例

本実施形態例は、本発明に係る面発光半導体レーザ素子の実施形態の一例であって、図1は本実施形態例の面発

光半導体レーザ素子の構成を示す斜視断面図、及び図2は本実施形態例の面発光半導体レーザ素子の層構造を示す模式図である。図1及び図2に示すもののうち、図5及び図6に示したものと同じものには、同じ符号を付して説明を省略する。本実施形態例の面発光半導体レーザ素子40は、発光波長850nmの面発光型の半導体レーザ素子であって、図1及び図2に示すように、下部反射鏡42の構成が従来の面発光半導体レーザ素子10の下部反射鏡14の構成と異なることを除いて、面発光半導体レーザ素子10と同じ構成を備えている。

【0024】本実施形態例の下部反射鏡42は、図2に示すように、低屈折率膜として設けられたp-AlAs膜44と、高屈折率膜として設けられたp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46の25.5ペアからなる下部多層膜48と、下部多層膜48上に形成され、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46とp-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50の10ペアからなる上部多層膜52とから構成されている。p-AlAs膜44の膜厚は、50nmであり、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46及びp-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50の膜厚は、それぞれ、40nm及び50nmである。また、上部多層膜52の最上層は、p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50に代えて膜厚50nmのp-AlAs膜17が成膜され、かつAlAs層17中のAlを選択的に酸化することにより、円筒状溝28の側壁に沿ってAl酸化層16が形成されている。Al酸化層16は電流ブロッキング層となり、AlAs層17の中央領域は、酸化されることなくそのままAlAs層として存在し、電流注入経路を構成している。

【0025】次に、図1及び図2を参照して、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子40の作製方法を説明する。先ず、有機金属気相成長法(MOCVD法)により、図2に示すように、p-GaAs基板12上に、25.5ペアのp-AlAs膜44/p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46からなる下部多層膜48、続いて10ペアのp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46/p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50からなる上部多層膜52を成長させ、下部反射鏡42を形成する。上部多層膜52の形成の際、上部多層膜52の最上層は、p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50に代えて、膜厚50nmのAlAs層17を成膜する。

【0026】次いで、上部多層膜52上に、膜厚93nmのノンドープAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As下部クラッド層18、GaAs/Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As多重量子井戸構造20、及び膜厚93nmのノンドープAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As上部クラッド層22を成長させる。GaAs量子井戸発光層三層を含む、GaAs/Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As多重量子井戸構造20は、3層の膜厚7nmのGaAs量子井戸発光層と、膜厚10nmのAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As障壁層とから構成されている。

【0027】更に、上部クラッド層22上に、n型ドーピングしたn-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜54とn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜56の30ペアからなる多層膜を成長させて上部反射鏡24を形成する。続いて、上部反射鏡24の最上層のn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜56上に膜厚10nmのn-GaAsキャップ層26を成長させる。

【0028】尚、下部反射鏡42及び上部反射鏡24をそれぞれ構成するp型及びn型多層膜の成膜に際し、p-(n-)Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46(56)とp-(n-)Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50(54)との界面には、厚さ20nmの組成傾斜層を形成するように成膜する。また、Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46(56)及びAl<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50(54)の膜厚は、それぞれ、40nm及び50nmとする。以上の工程により、図2に示す化合物半導体積層構造体58を形成することができる。

【0029】次に、化合物半導体積層構造体58のn-GaAsキャップ層26上にプラズマCVD法によりシリコン窒化膜薄膜(図示せず)を成膜し、更にその上にフォトレジスト膜(図示せず)を成膜する。次いで、直徑約40~45μmの円形パターンをフォトリソグラフィ技術でフォトレジスト膜に転写し、円形レジスト・エッチングマスク(図示せず)を形成する。

【0030】続いて、円形レジスト・エッチングマスクを用い、CF<sub>4</sub>ガスをエッチングガスとする反応性イオンエッチング(RIE)法によりシリコン窒化膜薄膜をエッチングする。更に、塩素ガスを用いた反応性イオンビームエッチング(RIBE)法を用いて下部反射鏡42の多層膜に到達するまで、上部反射鏡24、上部クラッド層22、GaAs/Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As多重量子井戸構造20、及び下部クラッド層18、p-AlAs層17をエッチングして、円筒状溝28を形成する。これにより、柱状のエアポスト構造30ができる。尚、エッチングの際には、選択酸化層であるp-AlAs膜17と、下部反射鏡42のAlAs/Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Asペアからなる下部多層膜48の間、つまり上部多層膜52で、エッチングの進行を停止させる。つまり、10ペアのp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜46/p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜50からなる上部多層膜52をエッチング深さの制御層として機能させる。

【0031】次に、エアポスト構造30を有する化合物半導体積層構造体58を水蒸気雰囲気中で400℃に加熱し、約25分放置する。これにより、下部反射鏡42の最上層を構成するp-AlAs膜17を選択的に酸化して、図1に示すように、円筒状溝28の溝壁に沿ってAl酸化層16を生成すると共にエアポスト構造30の中央領域を元のp-AlAs層17のままとする。この酸化工程で酸化されなかつたエアポスト構造30の中央領域のp-AlAs層17は、直徑約15~20μmの円形領域であって、電流注入経路を構成する。尚、選択

50

酸化の際、10ペアの $p-A_{1.2}Ga_{0.8}As$ 膜46／ $p-A_{1.9}Ga_{0.1}As$ 膜50からなる上部多層膜52は、酸化防止層として機能し、下部多層膜48中の $p-A_1As$ 膜44が酸化して $A_1$ 酸化層に転化するのを防止する。

【0032】次いで、シリコン窒化膜薄膜（図示せず）をRIE法により完全に除去した後に、改めて、プラズマCVD法によってシリコン窒化膜薄膜32を全面に成膜する。エアポスト構造30の上面のシリコン窒化膜32を直径30μmの円形に除去し、そこにn側電極として内径20μm、外径30μmのリング状の $AuCeN$ ／ $Au$ 電極34を形成する。更に、n側電極引き出し用電極として $Ti/Pt/Au$ パッド36を形成する。また、 $p-GaAs$ 基板12の裏面を研磨して基板厚さを100μm程度に調整した後、裏面に $AuZn$ 電極を蒸着してp側電極38とする。最後に、最終処理として、窒素雰囲気中で約400℃でアニール処理を施すと、図1に示す発振波長が約850nmの面発光半導体レーザ素子40を完成することができる。

#### 【0033】試験例1

本実施形態例の構成を備え、かつエアポスト構造30の外径が様々に異なる、つまり電流経路面積が様々に異なる面発光半導体レーザ素子試料を同一ウェハ上に形成して、実施形態例試料の面発光半導体レーザ素子とした。次いで、実施形態例試料の電流経路面積と熱抵抗との関係を調べたところ、図3の○に示すような結果を得た。熱抵抗は、発光面積（電流経路面積）が広くなるにつれて小さくなっている。下部反射鏡に $A_1As$ 層を低屈折率膜とする下部多層膜を備えていないことを除いて実施形態例試料と同じ構成を備えた面発光半導体レーザ素子、つまり前述した従来の面発光半導体レーザ素子10と同じ構成の従来例試料を実施形態例試料と同様に作製し、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子に対する比較試料とした。上述の実施形態例試料と同様にして、比較例試料の電流経路面積と熱抵抗との関係を調べたところ、図3の●に示すような結果を得た。

【0034】実施形態例試料及び従来例試料の面発光半導体レーザ素子の試験結果の比較から、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子の熱抵抗（K/W）は、従来例の面発光半導体レーザ素子に比べて、電流経路面積約150μm<sup>2</sup>から約400μm<sup>2</sup>にわたって300K/W程度低い値を示した。

#### 【0035】試験例2

本実施形態例の面発光半導体レーザ素子を評価するために、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子と同じ構成を備え、発光面積が300μm<sup>2</sup>の面発光半導体レーザ素子を上述の実施形態例の方法に従って作製し、実施形態例試料とした。続いて、動作温度、つまり環境温度をパラメータにして実施形態例試料の電流一光出力特性を測定し、電流一光出力特性の温度依存性を調べたとこ

ろ、図4（a）に示すような結果を得た。

【0036】また、下部反射鏡に $A_1As$ 層を低屈折率膜とする下部多層膜を備えていないことを除いて実施形態例試料と同じ構成を備えた面発光半導体レーザ素子、つまり前述した従来の面発光半導体レーザ素子10と同じ構成の従来例試料を実施形態例試料と同様に作製し、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子に対する比較試料とした。続いて、実施形態例試料と同様にして、動作温度、つまり環境温度をパラメータにして従来例試料の電流一光出力特性を測定し、電流一光出力特性の温度依存性を調べたところ、図4（b）に示すような結果を得た。

【0037】図4（a）と図4（b）との比較から判る通り、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子は、従来例試料に対して、20℃から30℃の室温では光出力特性に顕著な差はないものの、70℃の温度では、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子は、室温での光出力の90%程度の光出力を得ることができ、しかも注入電流を増加させることによって光出力を更に増大させることができる。一方、従来例の面発光半導体レーザ素子の光出力は、約8.5mWで飽和し、注入電流を増加してもそれ以上の光出力を出すことはできない。

【0038】以上の試験例1及び2の結果から、本実施形態例の面発光半導体レーザ素子40は、従来の面発光半導体レーザ素子10に比べて、光出力の熱飽和特性が著しく良好であって、高温の動作環境でも高出力で安定して動作することが実証された。

【0039】本実施形態例では、 $A_1As$ 被酸化層17と $A_1As/A_{1.2}Ga_{0.8}As$ からなる下部多層膜48との間に10ペアの $A_{1.9}Ga_{0.1}As/A_1Ga_{0.2}As$ からなる上部多層膜52を介在させている。上部多層膜52は、下部多層膜48の酸化防止層として、またエアポスト形成時のエッティング深さの制御性を良好にするためのエッティング制御層として設けたものであり、 $A_1As$ 被酸化層17の直下の層でエッティングを停止させることができれば、 $A_{1.9}Ga_{0.1}As/A_{1.2}Ga_{0.8}As$ のペア数を減らすことにより、下部反射鏡の熱抵抗を更に一層低減することができる。

【0040】本実施形態例では、発振波長850nmの面発光半導体レーザ素子を例にして説明したが、発振波長の長短にかかわらず、 $A_1$ を含む材料系であれば適用可能である。例えば、 $GaAs$ 基板上に形成した波長900nm以上で発振する $GaInAs$ 歪量子井戸活性層を有する面発光半導体レーザ素子や、更には $GaInNAs$ 量子井戸活性層を有する面発光半導体レーザ素子などにも適用可能である。

#### 【0041】

【発明の効果】本発明によれば、一对の半導体多層膜反射鏡の間に設けられた活性層と、酸化層からなる電流狭窄構造とを有する面発光半導体レーザ素子において、基

板側の半導体多層膜反射鏡を構成する低屈折率層がAlAs層であって、かつ酸化層とAlAs層との間に酸化防止層としてAlGaAs層を設けることにより、レーザ光出力の熱飽和特性の良好で、高温の動作環境でも高出力で安定して動作する面発光半導体レーザ素子を実現している。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態例の面発光半導体レーザ素子の構成を示す斜視断面図である。

【図2】実施形態例の面発光半導体レーザ素子の層構造を示す模式図である。

【図3】電流経路面積と熱抵抗との関係を示すグラフである。

【図4】図4(a)及び(b)は、それぞれ、動作環境温度をパラメータとした実施形態例試料及び従来例試料の注入電流と光出力との関係を示すグラフである。

【図5】従来の面発光半導体レーザ素子の構成を示す斜視断面図である。

【図6】従来の面発光半導体レーザ素子の層構造を示す模式図である。

【図7】下部反射鏡の熱伝導率と熱抵抗との関係を示すグラフである。

【図8】下部反射鏡の熱伝導率と活性層部分の温度上昇との関係を示すグラフである。

【図9】AlGaAs混晶の混晶比と熱伝導率との関係を示すグラフである。

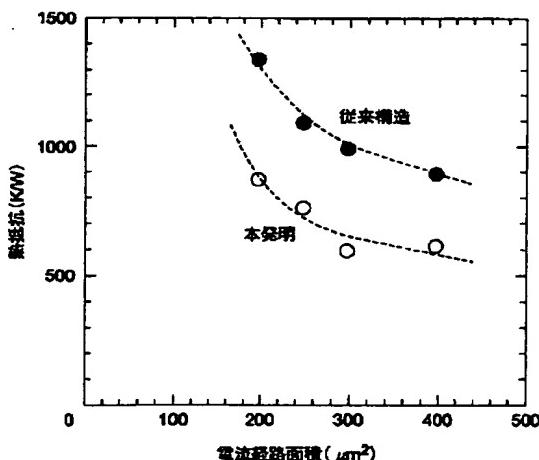
【図10】熱抵抗値と面発光半導体レーザ素子の最大光出力との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

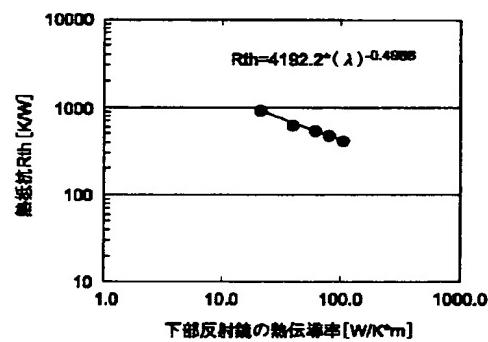
- \* 10 従来の発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子
- 12 p-AlAs基板
- 14 p型多層膜からなる下部反射鏡
- 16 Al酸化層
- 17 p-AlAs層
- 18 ノンドープAlGaAs下部クラッド層
- 20 GaAs量子井戸発光構造
- 22 ノンドープAlGaAs上部クラッド層
- 24 n型多層膜からなる上部反射鏡
- 26 n-GaAsキャップ層
- 28 円筒状溝
- 30 エアポスト構造
- 32シリコン窒化膜
- 34 n側電極
- 36 n側電極の引き出し用電極
- 38 p側電極
- 40 実施形態例の発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子
- 20 42 p型多層膜からなる下部反射鏡
- 44 p-AlAs膜
- 46 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜
- 48 下部多層膜
- 50 p-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜
- 52 上部多層膜
- 54 n-Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As膜
- 56 n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As膜
- 58 化合物半導体積層構造体

\*

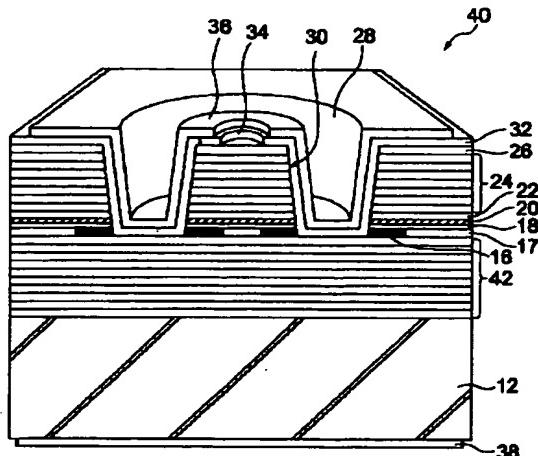
【図3】



【図7】

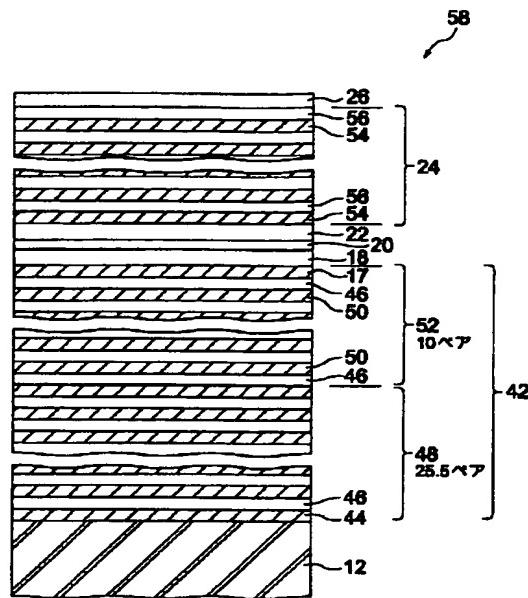


【図1】



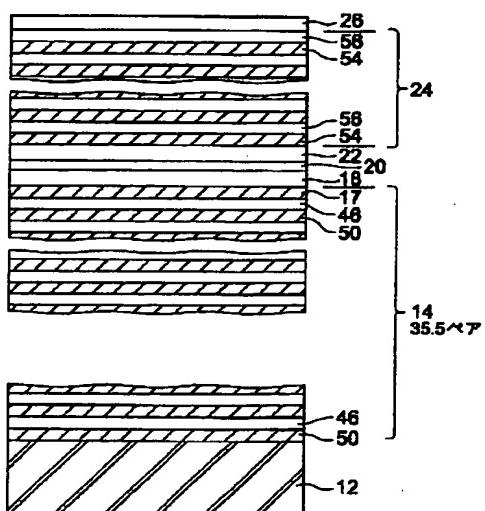
- 12 p-GaAs基板  
18 Al氧化層  
17 p-AlAs層  
18 ノンドープAlGaAs下部クラッド層  
20 GaAs量子井戸発光構造  
22 ノンドープAlGaAs上部クラッド層  
24 n型多層膜からなる上部反射鏡  
26 n-AlAsキャップ層  
28 円筒状溝  
30 エアボスト構造  
32 シリコン窓化層  
34 n側電極  
36 n側電極の引き出し用電極  
38 p側電極  
40 実施形態例の発光波長850nmの面発光半導体レーザ子  
42 p型多層膜からなる下部反射鏡

【図2】



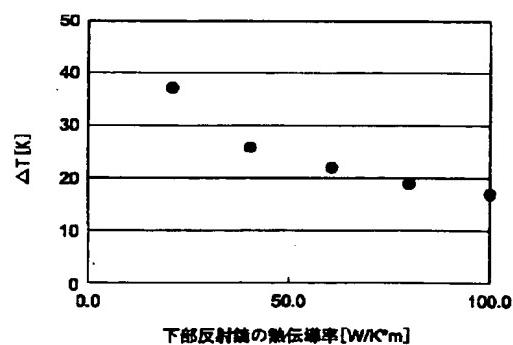
- 44 p-AlAs層  
46 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層  
50 p-Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As層  
54 n-Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As層  
56 n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層

【図6】

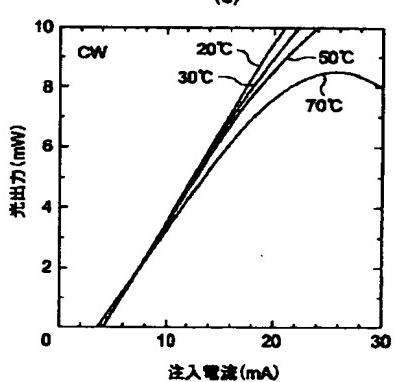
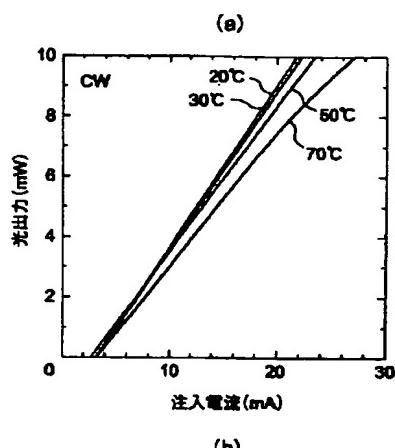


- 46 p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層  
50 p-Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As層  
54 n-Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As層  
56 n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>As層

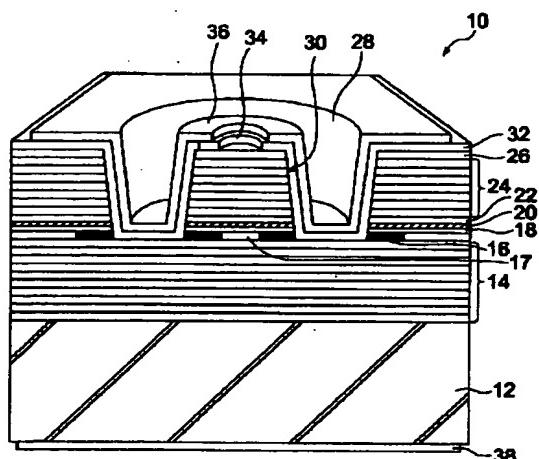
【図8】



【図4】

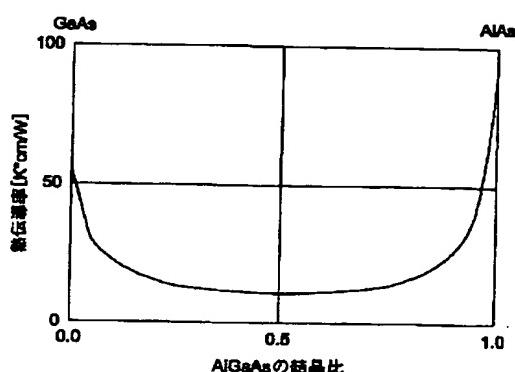


【図5】

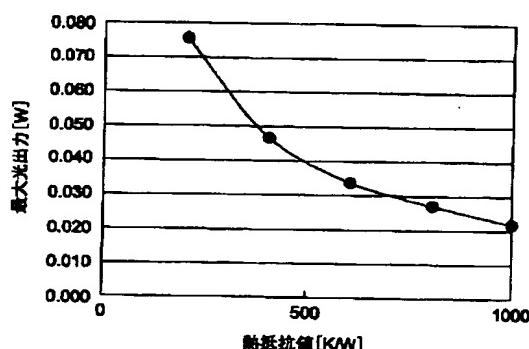


- 10 従来の発光波長850nmの面発光半導体レーザ素子
- 12 p-GaAs基板
- 14 p型多層膜からなる下部反射鏡
- 16 Al層
- 17 p-AlAs層
- 18 ノンドープAlGaAs下部クラッド層
- 20 GaAs量子井戸発光構造
- 22 ノンドープAlGaAs上部クラッド層
- 24 n型多層膜からなる上部反射鏡
- 26 n-GaAsキャップ層
- 28 円筒状溝
- 30 エアポスト構造
- 32 シリコン塗化膜
- 34 n側電極
- 36 n側電極の引き出し用電極
- 38 p側電極

【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 植田 菜摘

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 品川 達志

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 5F045 AA04 AB09 AB17 AC07 CA12  
DA52  
5F073 AA62 AA74 AB17 BA01 BA09  
CA05 CB02 DA25 DA27 EA15  
EA24 EA28